



TUGAS AKHIR - TM 091585

***APLIKASI KOMPOSIT *FIBER CARBON-EPOXY*
PADA *DRIVESHAFT* KENDARAAN RODA EMPAT
DENGAN VARIASI JUMLAH *LAYER* DAN ARAH
*FIBER CARBON****

**GANI MAUSTOFAH
NRP 2112 100 054**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.**

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT - TM 091585

**APPLICATION OF FIBER CARBON-EPOXY
COMPOSITE ON THE FOUR WHEEL VEHICLE'S
DRIVESHAFT WITH THE VARIATION OF ANGLE
ORIENTATION AND THE COUNT OF THE LAYER**

**GANI MAUSTOFAH
NRP 2112 100 054**

**Supervisor
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.**

**Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017**

**APLIKASI KOMPOSIT *FIBER CARBON-EPOXY*
PADA *DRIVESHAFT* KENDARAAN RODA EMPAT
DENGAN VARIASI JUMLAH LAPISAN DAN ARAH
*FIBER CARBON***

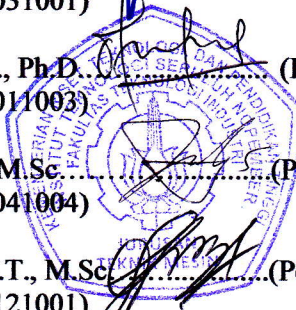
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Gani Maustofah
NRP. 2112 100 054

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T..... (Pembimbing)
(NIP.197407032000031001)
 2. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D..... (Penguji I)
(NIP.198005202005011003)
 3. Indra Sidharta, S.T., M.Sc..... (Penguji II)
(NIP.198006192006041004)
 4. Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc..... (Penguji III)
(NIP.198202092012121001)
- 

SURABAYA
Januari, 2017

APLIKASI KOMPOSIT *FIBER CARBON-EPOXY* PADA *DRIVESHAFT* KENDARAAN RODA EMPAT DENGAN VARIASI JUMLAH *LAYER* DAN ARAH *FIBER CARBON*

Nama Mahasiswa : Gani Maustofah
NRP : 2112100054
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRAK

Driveshaft merupakan bagian yang berfungsi untuk meneruskan putaran mesin ke penggerak roda dari sebuah kendaraan roda empat. Sampai saat ini *driveshaft* yang umum beredar adalah *driveshaft* dengan material *steel (4130)* dan desain silinder pejal. Material tersebut akan cenderung membuat *driveshaft* menjadi berat. *Fiber carbon – epoxy* merupakan material yang memiliki densitas jauh lebih rendah dan kekuatan yang jauh lebih tinggi dari *steel (4130)*. Oleh karena hal tersebut, *Fiber carbon – epoxy* dapat digunakan untuk menggantikan material *steel (4130)* sebagai *driveshaft* untuk mengurangi berat *driveshaft*. Untuk mencapai kekuatan dan berat yang optimal dibutuhkan konfigurasi untuk mengoptimalkan *driveshaft*. Konfigurasi yang digunakan adalah jumlah *layer* dan orientasi sudut *carbon fiber*.

Penelitian kali ini dilakukan dengan pengujian spesimen yang terbuat dari *carbon fiber TC35-12K – epoxy* dan desain *hollow* dengan mensimulasikannya kedalam *software finite element*. Dilakukan pembuatan model spesimen dengan diameter 22,4 mm dan panjang 397,84 mm. Kemudian dilakukan simulasi uji *torsi* dengan diberi *momen* 141 Nm. Dalam pembuatan spesimen ini dilakukan variasi sudut dan jumlah *layer* untuk menemukan konfigurasi optimal. Kemudian dilakukan proses eksperimen untuk konfigurasi yang optimal. Proses eksperimen terdiri dari proses pembuatan dan pengujian *driveshaft*.

Dari hasil simulasi didapatkan konfigurasi yang optimal adalah orientasi sudut 45^0 dan 5 layer carbon fiber TC35-12K. Nilai dari tiap parameter yang didapatkan dari proses simulasi konfigurasi optimal ini adalah 1.505 mm untuk *total deformation*, 297.51 Mpa untuk *equivalent stress*, dan 0.0027 mm/mm untuk *equivalent elastic strain*. Sedangkan nilai untuk parameter kegagalan *tsai-hill* didapatkan untuk layer 1 0.125, layer 2 0.125, layer 3 0.125, layer 4 0.25 diujung dan 0.5 ditengah, dan layer 5 0.625. Nilai dari masing-masing parameter diketahui masih dalam kondisi aman. Konfigurasi yang optimal tersebut menghasilkan *driveshaft* dengan proses eksperimen, dan setelah diuji *torsi* hasilnya masih menunjukkan tidak ada kegagalan.

Kata Kunci: *driveshaft, fiber carbon – epoxy, uji torsi*

APPLICATION OF FIBER CARBON-EPOXY COMPOSITE ON THE FOUR WHEEL VEHICLE'S DRIVESHAFT WITH THE VARIATION OF ANGLE ORIENTATION AND THE COUNT OF THE LAYER

NAME : Gani Maustofah
NRP : 2112100054
MAJOR : Mechanical Engineering
Lecture : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRACT

Driveshaft is the part of four wheel vehicle which used to transfer the power from engine to the wheel. Nowadays, driveshaft still use the steel (4130) material, so the driveshaft has the heavy weight. There was an alternative that can make the driveshaft lighter than before. The alternative is about replacing material. Steel (4130) can be replaced by fiber carbon-epoxy material. To optimize the fiber carbon – epoxy material, we can use the optimal parameter. The parameter is angle orientation of fiber carbon and the total layer of fiber carbon.

First step of this research is making the model design of the steel (4130) driveshaft and the model of fiber carbon-epoxy driveshaft. After that, the models were simulated with the finite element analysis software. Then, the parameters was determined for the best result. The result of the simulation is used to doing the experiment. In the experiment step, there are two sub-step. First, the product is created. The second is the product is tested with the torsional testing.

Simulation process is produced the optimal configuration of fiber carbon – epoxy driveshaft. There are four categories from the configuration. There were total deformation, equivalent stress, equivalent elastic strain, and tsai-hill failure. The total deformation is 1.505 mm. The equivalent stress is 297.51 MPa. The equivalent elastic strain is 0.0027 mm/mm. Tsai hill failure is 0.125 for layer 1, 0.125 for layer 2, 0.125 for layer 3, 0.25 at the end and 0.5 at the middle of layer 4, and 0.625 for layer 5. These categories values is

still in the safe zone. So the simulation process is success. The result of simulation is produced the driveshaft product from experiment process. After the torsion testing, the fiber carbon-epoxy driveshaft still have no failure (safe).

Keyword: *driveshaft, fiber carbon – epoxy, uji torsi*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **Aplikasi Komposit *Fiber Carbon* – Epoxy pada Driveshaft Kendaraan Roda Empat dengan Variasi Jumlah Lapisan dan Arah *Fiber Carbon*.**

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wata'ala.
2. Bapak Yoes Maustofah dan Ibu Sri Hartatik atas doa, dukungan, motivasi, arahan, bimbingan, dan kerja kerasnya yang membuat penulis dapat menyelesaikan perkuliahannya dengan baik.
3. Seluruh anggota keluarga Soesilo dan Soedibyo atas dampingannya.
4. Retty Dwi Kisnawati yang selalu menyemangati saya kapanpun dan dimanapun.
5. Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini sampai selesai.
6. Bapak Indra Sidharta, S.T., MSc., Bapak Wahyu Wijanarko, S.T, MSc, dan Bapak Suwarno, S.T., MSc., Ph.D. Selaku dosen pembahas pada seminar proposal tugas akhir dan dosen penguji pada sidang akhir tugas akhir atas saran dan bimbingannya dalam memperbaiki kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. selaku dosen wali penulis selama perkuliah atas arahan dan bimbingannya selama perkuliahan.

8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin ITS atas bimbingan dan bantuannya selama penulis berkuliah di Jurusan Teknik Mesin ITS.
9. Mukidi, Cukiboy, Tuwek, Kencot, dan Bogella yang telah menjadi crew BPH KURO 2015-2016 dan menjadi tim yang paling luar biasa.
10. Rakyat BUDALS yang selalu menjadi teman terbaik penulis.
11. Seluruh angkatan M55 atas kebersamaan dan keluarganya.
12. Seluruh anggota LBMM yang penulis cintai, anggota Divisi Tempur LBMM yang sangat jantan.
13. Seluruh warga LABORATORIUM KOMPUTASI yang menghibur penulis untuk menjalani tugas akhir ini.
14. Seluruh warga Republik Metalurgi yang telah menjadi teman dalam mengerjakan tugas akhir.
15. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (Versi Bahasa Indonesia).....	i
HALAMAN JUDUL (Versi Bahasa Inggris).....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR GRAFIK	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Poros Gardan.....	6
2.2.1 Tipe FE-RD	6

2.2.2 Tipe FE-FD	6
2.2.3 Tipe RE-RD	7
2.2.4 Tipe 4 WD.....	7
2.2.5 <i>Rigid Axle Shaft</i>	8
2.2.6 <i>Independent Axle Shaft</i>	9
2.3 Komposit.....	9
2.3.1 Matriks	10
2.3.2 Penguat (<i>reinforcement</i>).....	10
2.3.2.1 Komposit berpenguat partikel (<i>Particle-reinforced</i>).....	11
2.3.2.2 Komposit berpenguat serat (<i>Fiber-reinforced</i>).....	11
2.3.2.3 Komposisi berpenguat struktural.	12
2.4 Metode manufaktur.....	12
2.5 Metode Pengujian	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Simulasi	17
3.1.1 Diagram Alir Simulasi Poros Asli	17
3.2.1 Diagram Alir Simulasi Poros <i>Epoxy – Carbon Fiber</i>	18
3.2 Diagram Alir Eksperimen	19
3.3 Studi Literatur	20

3.4 <i>Properties Material</i>	20
3.5 Model Spesimen	21
3.6 Pengkondisian Model Uji <i>Torsi</i>	21
3.7 Pengujian Eksperimen	25
3.7.1 Alat dan Bahan	25
3.7.2 Langkah-langkah Percobaan	26
3.7.2.1 Pembuatan Spesimen Uji	26
3.7.2.2 Pengujian <i>Torsi</i>	27

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan <i>Angle Orientation</i> dan Jumlah <i>Layer Drive Shaft</i>	29
4.1.1 Penentuan <i>Angle Orientation Drive Shaft</i>	29
4.1.2 Penentuan Jumlah <i>Layer Drive Shaft</i>	33
4.2 Analisa Hasil Proses Simulasi	34
4.2.1 Analisa Parameter <i>Massa Drive Shaft</i> Hasil Simulasi	34
4.2.1.1 Analisa Parameter <i>Massa Steel</i> (<i>4130</i>) <i>Drive Shaft</i> Hasil Simulasi	34
4.2.1.2 Analisa Parameter <i>Massa Fiber</i> <i>Carbon – Epoxy Drive Shaft</i> Hasil Simulasi	35

4.2.1.3 Perbandingan <i>Massa Steel (4130)</i> <i>Drive Shaft</i> dan <i>Massa Fiber Carbon –</i> <i>Epoxy DriveShaft</i>	35
4.2.2 Analisa Parameter <i>Total Deformation</i> Hasil Simulasi.....	36
4.2.3 Analisa <i>Torsional Stiffness Drive Shaft ...</i>	37
4.2.3.1 Analisa <i>Torsional Stiffness Steel</i> <i>(4130) Drive Shaft</i>	37
4.2.3.2 Analisa <i>Torsional Stiffness Fiber</i> <i>Carbon – Epoxy DriveShaft</i>	37
4.2.3.3 Perbandingan Nilai <i>Torsional</i> <i>Stiffness Steel (4130) Drive Shaft</i> dan <i>Torsional Stiffness Fiber Carbon –</i> <i>Epoxy DriveShaft</i>	38
4.2.4 Analisa Kegagalan <i>Drive Shaft</i> Hasil Simulasi.....	38
4.2.4.1 Analisa Parameter <i>Equivalent</i> <i>Stress</i> Hasil Simulasi	38
4.2.4.2 Analisa Parameter <i>Equivalent</i> <i>Elastic Strain</i> Dari Hasil Simulasi	40
4.2.4.3 Analisa Parameter <i>Tsai-Hill</i> Dari Hasil Simulasi.....	41

4.3 Analisa Hasil Eksperimen.....	44
4.3.1 Analisa Parameter <i>Massa Drive Shaft</i>	
Hasil Eksperimen	44
4.3.2 Analisa Kegagalan <i>Drive Shaft</i> Hasil	
Eksperimen.....	45
 4.4 Analisa Perbandingan Hasil Simulasi dan	
Hasil Eksperimen	46
4.4.1 Perbandingan Parameter <i>Massa Drive</i>	
<i>Shaft</i>	46
4.4.2 Perbandingan Kegagalan <i>Drive Shaft</i>	47
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema mobil bermesin depan dan berpenggerak belakang	6
Gambar 2.2	Skema mobil bermesin depan dan berpenggerak depan	7
Gambar 2.3	Skema mobil bermesin belakang dan berpenggerak belakang	7
Gambar 2.4	Skema mobil berpenggerak semua roda	8
Gambar 2.5	Rigid axle shaft	8
Gambar 2.6	Independent axle shaft	9
Gambar 2.7	Bahan penyusun komposit	10
Gambar 2.8	Diagram jenis komposit menurut matriks penyusunnya.....	10
Gambar 2.9	Diagram jenis komposit menurut serat penyusunnya.....	11
Gambar 2.10	Komposit berpenguat partikel.....	11
Gambar 2.11	Komposit berpenguat serat	12
Gambar 2.12	Komposit berpenguat struktur	12
Gambar 2.13	Skema pembentukan komposit.....	13
Gambar 2.14	Proses <i>hand lay-up</i>	14
Gambar 2.15	Pembebanan pada uji <i>torsi</i>	15

Gambar 3.1	Skema diagram alir simulasi poros asli	17
Gambar 3.2	Skema diagram alir simulasi <i>hollow shaft</i> <i>fiber carbon</i>	18
Gambar 3.3	Skema diagram alir penelitian	19
Gambar 3.4	Profil spesimen 3 dimensi beserta ukurannya.....	21
Gambar 3.5	Pemilihan material untuk uji <i>torsi</i>	22
Gambar 3.6	Pemilihan <i>meshing</i> untuk uji <i>torsi</i>	22
Gambar 3.7	Pemberian <i>fixed support</i> dan <i>moment</i> pada spesimen.....	23
Gambar 3.8	<i>Fiber carbon</i> dengan arah lamina 0°	23
Gambar 3.9	<i>Fiber carbon</i> dengan arah lamina 45°	24
Gambar 3.10	<i>Fiber carbon</i> dengan arah lamina 60°	24
Gambar 3.11	Skema simulasi <i>static structural</i>	25
Gambar 4.1	<i>Angle Orientation</i> pada <i>fiber carbon</i> jenis <i>woven</i>	29
Gambar 4.2	<i>Massa total steel (4130) driveshaft</i>	34
Gambar 4.3	<i>Massa total fiber carbon – epoxy</i> <i>Driveshaft</i>	35
Gambar 4.4	Distribusi parameter <i>total deformation</i> <i>fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer</i>	37
Gambar 4.5	Distribusi parameter <i>normal stress</i> pada	

	<i>fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer</i>	39
Gambar 4.6	Distribusi parameter <i>shear stress</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer</i>	39
Gambar 4.7	Distribusi parameter <i>equivalent elastic strain</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer</i>	41
Gambar 4.8	Distribusi parameter <i>tsai hill</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-5 (layer terluar).....</i>	42
Gambar 4.9	Distribusi parameter <i>tsai hill</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-4.....</i>	42
Gambar 4.10	Distribusi parameter <i>tsai hill</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-3.....</i>	43
Gambar 4.11	Distribusi parameter <i>tsai hill</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-2.....</i>	43
Gambar 4.12	Distribusi parameter <i>tsai hill</i> pada <i>fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-1 (terdalam)</i>	43
Gambar 4.13	Massa <i>fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer</i>	45
Gambar 4.14	Kondisi <i>fiber carbon – epoxy driveshaft</i> saat diberi beban <i>torsi</i>	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	<i>Fiber Carbon TC35-12K</i>	20
Tabel 3.2	<i>Epoxy Resin</i>	21
Tabel 4.1	Data 3 parameter untuk tiap <i>layer fiber carbon</i>	34
Tabel 4.2	Data perbandingan <i>massa fiber carbon –epoxy driveshaft</i> dan <i>massa steel (4130) driveshaft</i>	35
Tabel 4.3	Data <i>total deformation driveshaft</i>	36
Tabel 4.4	Data <i>equivalent stress fiber carbon - epoxy driveshaft</i> tiap layer.....	40
Tabel 4.5	Data <i>equivalent elastic strain fiber carbon - epoxy driveshaft</i> tiap layer	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	<i>Trendline parameter equivalent stress tiap sudut fiber carbon.....</i>	30
Grafik 4.2	<i>Trendline parameter total deformation tiap sudut fiber carbon.....</i>	30
Grafik 4.3	<i>Trendline parameter equivalent elastic strain tiap sudut fiber carbon</i>	31
Grafik 4.4	<i>Trendline parameter equivalent stress tiap layer fiber carbon</i>	32
Grafik 4.5	<i>Trendline parameter equivalent elastic strain tiap layer fiber carbon.....</i>	32
Grafik 4.6	<i>Trendline parameter total deformation tiap layer fiber carbon</i>	33

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi merupakan sebuah elemen tambahan yang dapat mempermudah kehidupan manusia dan dewasa ini menjadi sangat penting. Teknologi dibagi menjadi banyak bidang, salah satunya adalah bidang otomotif. Produk dari teknologi otomotif adalah sepeda motor, mobil, kereta api, dan kapal laut. Salah satu usaha yang dilakukan saat ini untuk menajukan teknologi otomotif adalah peningkatan efisiensi sebuah kendaraan.

Dikarenakan tren permintaan masyarakat mengenai kendaraan berjenis mobil semakin meningkat dari tahun ke tahun[4], maka perlu dilakukan peningkatan efisiensi terhadap mobil. Hal tersebut bisa dilakukan dengan cara penggantian bahan material yang terdapat pada mobil agar berat dari kendaraan tersebut dapat berkurang. Selama ini teknologi otomotif khususnya kendaraan mobil sudah menerapkan penggantian material berbahan yang lebih ringan. Penggantian tersebut diterapkan terhadap bagian mobil yang tidak bergerak. Namun hal tersebut dirasa belum cukup untuk meningkatkan efisiensi sebuah mobil.

Untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal maka dapat dilakukan dengan melakukan penggantian material. Penggantian material dapat dilakukan pada bagian yang berputar. Hal tersebut akan membuat massa dan momen inersia benda tersebut menjadi lebih kecil.

Poros merupakan sebuah bagian mobil yang berfungsi untuk menghubungkan daya putaran mesin mobil dengan roda sebagai penggerak mobil. Untuk mentransmisikan putaran mesin digunakan poros mobil yang kuat untuk menahan segala beban yang diterima poros tersebut. Dewasa ini untuk poros mobil yang beredar di seluruh dunia memiliki material berjenis baja dan bertipe pejal. Hal tersebut tentu saja membuat poros memiliki beban yang berat dan memiliki momen inersia yang besar[5].

Carbon fiber merupakan sebuah material baru yang dikembangkan dengan menggabungkan *carbon fiber* dengan resin untuk menjadi sebuah material yang memiliki properties mekanik lebih baik daripada properties mekanik dari material baja namun memiliki density yang jauh lebih ringan [1]. Bentuk dari *carbon fiber* dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan, proses pembentukan *carbon fiber* bergantung pada proses pembuatannya. Namun untuk *carbon fiber* yang beredar di pasaran pada umumnya berbentuk lembaran-lembaran tipis. Jadi untuk membentuk sebuah benda dengan material *carbon fiber* yang properties materialnya sesuai dengan kebutuhan bisa dilakukan dengan menumpuk lembaran-lembaran *carbon fiber* yang banyak dijual di pasaran.

Oleh karena hal tersebut terdapat peluang untuk menaikkan efisiensi dari kinerja kendaraan mobil dengan cara melakukan percobaan penggantian material baja pada poros mobil dengan material *carbon fiber*. Oleh karena hal tersebut dilakukan percobaan penggantian material baja poros mobil berpenggerak belakang dengan material *carbon fiber*.

1.2 Rumusan Masalah

Masih terdapat beban yang berlebihan pada *part driveshaft* pada kendaraan roda empat. Hal ini diakibatkan oleh material *driveshaft* yang terbuat dari baja Sehingga diperlukan penelitian lebih tentang material komposit *fiber karbon-epoxy* sebagai pengganti *driveshaft* baja. Selain itu diperlukan evaluasi terhadap beban torsi yang diaplikasikan, serta pengaruhnya dengan jumlah *layer* dan sudut serat *carbon fiber*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah didapatkannya konfigurasi komposit *epoxy-carbon fiber* untuk menggantikan baja sebagai material *driveshaft* kendaraan roda empat. Adapun konfigurasi yang dimaksud adalah jumlah *layer* dan orientasi *carbon fiber*. Selain itu dilakukan evaluasi terhadap *driveshaft epoxy-carbon*

fiber dengan melakukan permodelan material, simulasi menggunakan *software finite element analysis* dan eksperimental.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan adanya batasan masalah yaitu :

Carbon fiber TC35-12K yang digunakan dianggap homogen serat-seratnya.

Proses pelapisan *epoxy* dianggap homogen.

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Sistematika penulisan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

Pada bab 1 merupakan bab yang berisi tentang pendahuluan. Pada bab ini dibagi menjadi 4 bagian yaitu latar belakang percobaan, rumusan masalah, tujuan percobaan, dan sistematika laporan.

Pada bab 2 berisikan tentang dasar teori yang mendasari tentang percobaan ini.

Pada bab 3 membahas tentang metodologi percobaan.

Pada bab 4 ini membahas tentang analisis data dan pembahasan. terdapat 4 bab didalamnya yaitu: data percobaan dan hasil perhitungan.

Pada bab 5 merupakan bab yang memuat tentang kesimpulan dan saran.

BAB 2

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada tahun 2012, Kumar Rompicharla dan Dr K Rabambu melakukan penelitian terhadap *driveshaft* dengan bahan komposit dan steel untuk membandingkan berat dari kedua material tersebut untuk mendapatkan beban yang sama melalui uji puntir. Komposit yang digunakan adalah *Kevlar-epoxy* dengan densitas 1042 kg/m^3 . Dalam penelitian tersebut, disimpulkan bahwa *driveshaft* dengan bahan komposit memiliki berat 28% lebih rendah dari *driveshaft* dengan bahan *steel*[1].

Pada umumnya penggunaan material komposit yang sering dijumpai adalah komposit dengan *reinforced* berbahan *Kevlar* dan *fiberglass*. Adapun sebagai bahan *reinforced* pada komposit, dapat digunakan *carbon fiber* yang memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi daripada *kevlar* dan *fiberglass*. Hal tersebut juga disimpulkan pada penelitian Yu Uriya. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa densitas pada *carbon fiber* 5 kali lebih kecil dan memiliki *tensile strength* 10 kali lebih tinggi daripada *high-strength steels* konvensional[2].

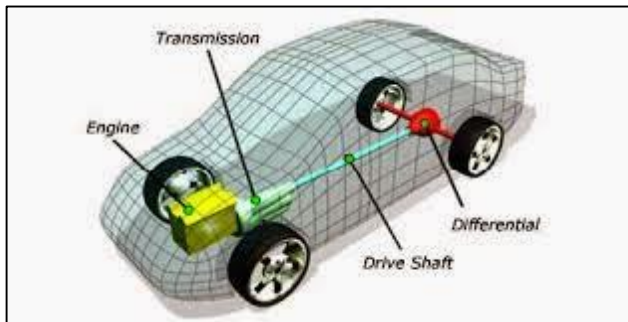
Berdasarkan banyaknya penelitian mengenai material komposit yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa komposit *fibercarbon* dan komposit *fiberglass* memiliki potensi yang sangat besar. Oleh karena hal tersebut M.A. Badie, E. Mahdi, dan A.M.S. Hamouda melakukan penelitian yang membandingkan 1 layer komposit berbahan *carbonfiber*, *E-glass fiber*, dan paduan *carbonfiber* dan *E-glass fiber* untuk diberikan pembebanan *torsi*. Hasil *torsi* yang didapatkan untuk komposit berbahan *carbon fiber* adalah 23 Nm, *E-glass fiber* 9 Nm, dan paduan *carbon fiber* dan *E-glass fiber* 9,5 Nm. Hal ini menunjukkan bahwa material komposit yang terbaik adalah komposit yang berbahan *carbon fiber* saja[3].

2.2 Poros Gardan

Axle shaft atau poros penggerak roda adalah merupakan poros pemutar roda-roda penggerak yang berfungsi meneruskan tenaga gerak dari *differential* ke roda-roda. *Axle shaft* pada kendaraan dibedakan menjadi dua yakni *front axle shaft* (poros penggerak roda depan) dan *rear axle shaft* (poros penggerak roda belakang). Penggerak kendaraan pada mobil umumnya ada 4 tipe penggerak, yaitu :

2.2.1 Tipe FE – RD

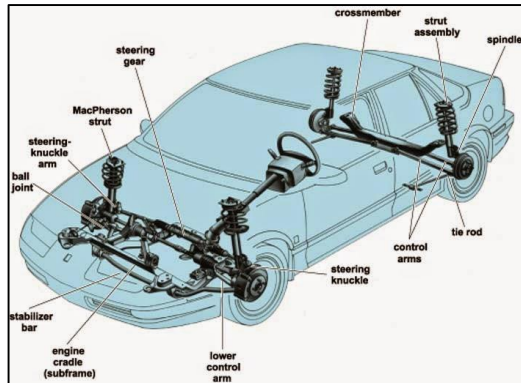
Front Engine – Rear Drive (FE-RD), dimana mesin diletakkan di depan kendaraan, sedangkan roda yang menggerakkan kendaraan adalah roda bagian belakang.



Gambar 2.1 Skema mobil bermesin depan dan berpenggerak belakang

2.2.2 Tipe FE – FD

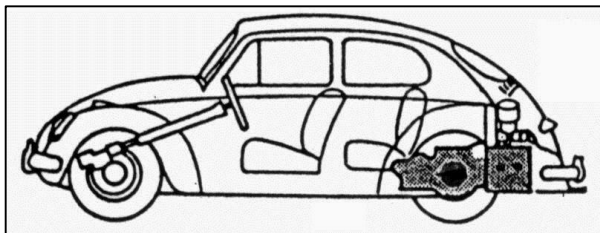
Front Engine – Front Drive (FE-FD), dimana mesin diletakkan di depan kendaraan, dan yang menggerakkan kendaraan adalah roda bagian depan.



Gambar 2.2 Skema mobil bermesin depan dan berpenggerak depan

2.2.3 Tipe RE – RD

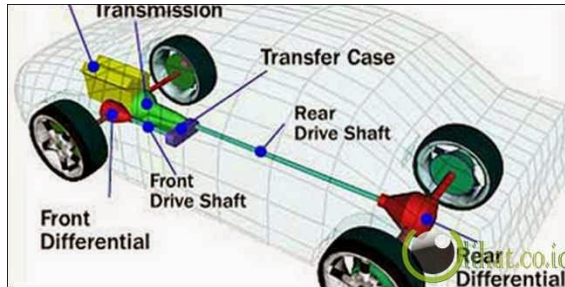
Rear Engine – Rear Drive (RE-RD), dimana mesin di letakkan di belakang kendaraan dan yang menggerakkan roda bagian belakang.



Gambar 2.3 Skema mobil bermesin belakang dan berpenggerak belakang

2.2.4 Tipe 4 WD

Four Wheel Drive (4 WD), mesin di letakkan di depan kendaraan, sedangkan yang menggerakkan kendaraan adalah ke empat roda, baik roda depan maupun roda belakang sama-sama menggerakkan kendaraan.



Gambar 2.4 Skema mobil berpengerak semua roda

2.2.5 *Rigid Axle Shaft*

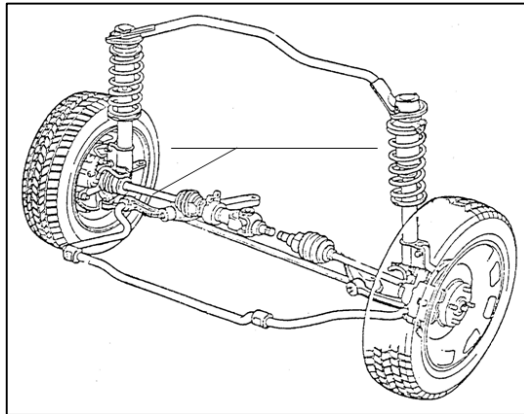
Type rigid sering digunakan pada kendaraan berskala menengah keatas dengan muatan yang besar, juga pada kendaraan yang dirancang untuk medan-medan berat karena mampu menahan beban yang berat.



Gambar 2.5 *Rigid axle shaft*

- Fungsi *axle shaft* pada *type rigid* :
 - a. Penerus putaran ke roda.
 - b. Pendukung beban roda

2.2.6 Independent Axle Shaft



Gambar 2.6 *Independent axle shaft*

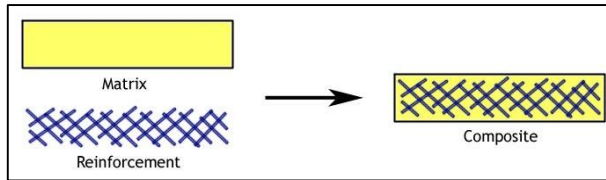
Type *independent* sering digunakan pada kendaraan kecil dan umumnya jenis-jenis sedan, karena *type* ini disamping konstruksinya ringan juga mampu membuat *angle* belok lebih besar.

➤ Fungsi *axle shaft* pada tipe *independent* :

1. Sebagai penerus putaran ke roda
2. Sebagai pendukung beban roda
3. Sebagai penstabil *body* kendaraan, karena dilengkapi *CV joint*.

2.3 Komposit

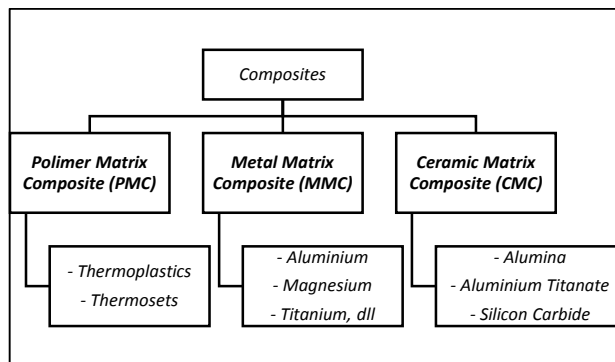
Komposit adalah material yang tersusun atas campuran dua atau lebih material dengan sifat kimia dan fisika berbeda, dan menghasilkan sebuah material baru yang memiliki sifat-sifat berbeda dengan material-material penyusunnya. Definisi komposit tersebut dapat mencakup logam paduan, plastik co-polimer, mineral, dan kayu. Komposit terdiri dari material pengisi (matriks) dan material penguat (*reinforcements*). Sifat akhir dari material komposit akan lebih baik dari sifat material penyusunnya [3].



Gambar 2.7 Bahan penyusun komposit

2.3.1 Matriks

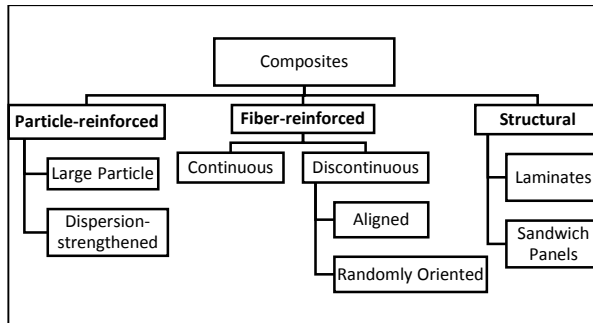
Matriks merupakan unsur yang bertugas untuk mengikat dan melindungi penguat. Unsur ini juga menahan dan meneruskan tegangan yang di terima pada komposit tersebut. Pada Gambar 2.8 dijelaskan macam-macam jenis komposit berdasarkan matriks penyusunnya.



Gambar 2.8 Diagram jenis komposit menurut matriks penyusunnya

2.3.2 Penguat (*Reinforcement*)

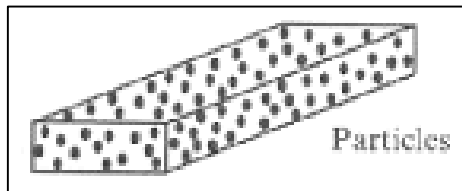
Penguat merupakan unsur utama dalam pembentukan material komposit. Sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik material komposit seperti kekakuan, kekuatan, dan sifat-sifat mekanik lainnya. Penguat dapat terbuat dari baja, polimer, atau keramik. Pada Gambar 2.9 dijelaskan macam-macam jenis komposit berdasarkan *reinforced* penyusunnya.



Gambar 2.9 Diagram jenis komposit menurut serat penyusunnya

2.3.2.1 Komposit berpenguat partikel (*Particle-reinforced*)

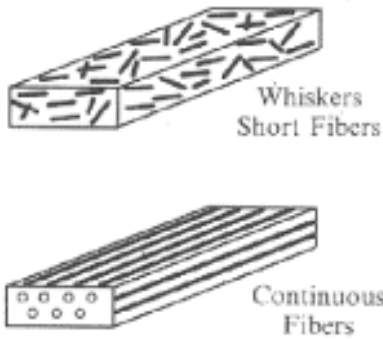
Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel. Gambar 2.10 merupakan ilustrasi dari komposit berpenguat partikel.



Gambar 2.10 Komposit berpenguat partikel

2.3.2.2 Komposit berpenguat serat (*Fiber-reinforced*)

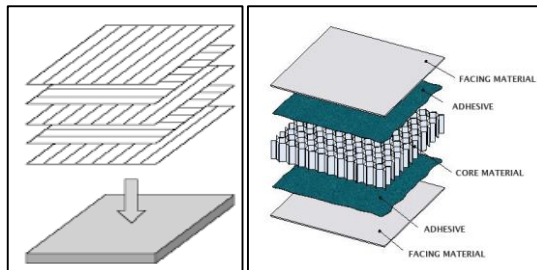
Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat baik panjang maupun pendek. Pada Gambar 2.11 merupakan ilustrasi dari komposit berpenguat serat pendek dan komposit berpenguat serat *continuos*.



Gambar 2.11 Komposit berpenguat serat

2.3.2.3 Komposisi berpenguat struktural

Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan baik yang berbentuk laminar maupun *sándwich*. Pada Gambar 2.12 (a) dapat dilihat ilustrasi komposit berpenguat struktur yang berbentuk laminar dan pada Gambar 2.6 (b) merupakan ilustrasi dari komposit berpenguat struktur yang berbentuk *sándwich*.



Gambar 2.12 Komposit berpenguat struktur. (a) berbentuk *laminar*, (b) berbentuk *sandwich*

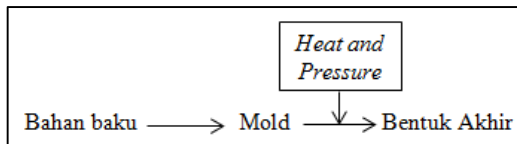
2.4 Metode Manufaktur

Ada berbagai macam proses manufaktur yang digunakan untuk melakukan pembentukan polimer dan komposit. Pemilihan proses

manufaktur manakah yang sesuai dan akan digunakan dapat ditentukan berdasarkan beberapa hal berikut ini:

1. Jumlah barang yang akan di produksi.
2. Biaya pembuatan.
3. Kekuatan material.
4. Bentuk dan ukuran produk.

Setiap proses manufaktur yang dilakukan membutuhkan kondisi yang tidak sama dengan proses manufaktur lainnya. Perbedaan itu dapat terletak pada jenis bahan baku atau material yang digunakan, peralatan apa saja yang digunakan, maupun kondisi atau suhu pengerjaan yang berbeda-beda. Pembuatan suatu komponen dengan bahan polimer dan komposit, hal utama yang dibutuhkan adalah bahan baku, alat, cetakan, panas, dan tekanan. Pada Gambar 2.13 merupakan skema pembentukan komposit dari bahan baku hingga menjadi bentuk akhir.



Gambar 2.13 Skema pembentukan komposit

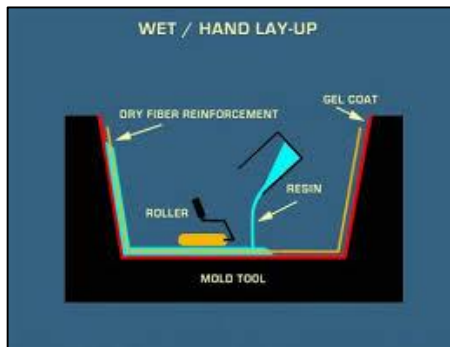
Semakin tinggi tekanan dan temperatur yang digunakan selama proses manufaktur, alat yang dibutuhkan semakin kuat dan berat, hal tersebut yang menyebabkan meningkatnya biaya perkakas.

Proses manufaktur yang ideal adalah proses yang pada saat pengerjaannya membutuhkan panas dan tekanan yang rendah. Proses produksi dengan siklus yang cepat juga disukai karena dapat melakukan penghematan biaya pengolahan yang sangat signifikan. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat berbagai macam proses manufaktur dari komposit dan kriteria yang digunakan, seperti *production speed*, *cost*, *strength*, *size*, *shape*, dan *raw material*. Langkah-langkah utama dalam proses manufaktur pada komposit adalah:

1. *Impregnation*

2. *Lay-up*
3. *Consolidation*
4. *Solidification*

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu *curing* pada suhu kamar dan akan mengering tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu *curing* bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void*/gelembung udara yang terperangkap dalam *laminat* komposit.



Gambar 2.14 Proses *hand lay-up*

Metode *hand lay up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay up* antara lain :

1. Mudah dilakukan
2. Biaya *tooling* yang rendah
3. Volumennya rendah
4. Proses pembuatannya sederhana
5. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay up* juga memiliki kekurangan antara lain :

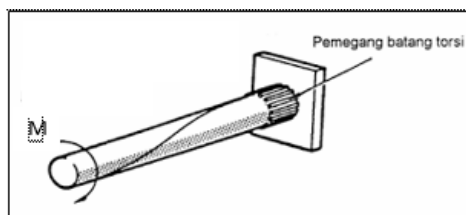
1. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten, bergantung dari kemampuan pembuatnya

2. Kesehatan dan keselamatan pekerja pada saat pembuatan perlu diperhatikan, karena proses *curing* terbuka maka menimbulkan bau yang cukup mengganggu.
3. Tidak bisa digunakan untuk produksi masal

2.5 Metode pengujian

Untuk mengetahui poros baru yang terbuat dari carbon fiber dapat menyamai kekuatan dari poros asli dari Toyota Yaris 2014, maka dilakukan pengujian uji torsi terhadap poros Toyota Yaris 2014 yang sesuai dengan *standard* ASTM E 143. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian terhadap beban torsi dengan spesifikasi yang sama dengan torsi terbesar dari mobil Toyota Yaris 2014[8]. Pengujian ini dilakukan terhadap kedua poros dengan cara batang specimen disangga di salah satu sisi dan di berikan beban torsi di sisi yang lainnya hingga menunjukkan data masing-masing poros yang diuji. Setelah didapatkan datanya, kemudian dapat dibandingkan.

Kondisi idealnya adalah kondisi dimana kekuatan yang dihasilkan oleh poros carbon fiber melalui pengujian beban momen dapat minimal sama dengan nilai kekuatan poros asli yang juga telah diuji beban momen. Idealnya specimen uji akan mengalami kegagalan retak (*fracture*) akibat beban geser (*shear*). Pada salah satu ujung dari poros diberikan support fix, dan ujung satunya merupakan pembebanan torsi.



Gambar 2.15 Pembebanan pada uji *torsi*

Pada gambar 2.15 diatas ditunjukkan proses pengujian yang akan dilakukan pada eksperimen ini. Ditunjukkan sebuah

batang silinder yang memiliki 2 ujung. Ujung yang pertama terhubung dengan pemegang batang torsi. Sedangkan ujung satunya terhubung dengan beban momen (M) yang sesuai dengan beban yang ditentukan.

Pada pengujian torsi sesuai dengan referensi yang digunakan, yaitu :

$$Deflection = Y_{max} = \frac{ML^2}{2EI} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Y_{max} = Defleksi maksimal (meter)

M = Torsi (Nm)

L = Panjang Shaft (meter)

E = Young Modulus (N/m²)

I = Momen Inersia Polar (meter²)

sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending dapat digunakan persamaan

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga,

$$E = \frac{PL^3}{48 I \delta_{max}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas bending (MPa)

L = Panjang Span (mm)

δ_{maks} = Defleksi maksimum (mm)

h = Tebal (mm)

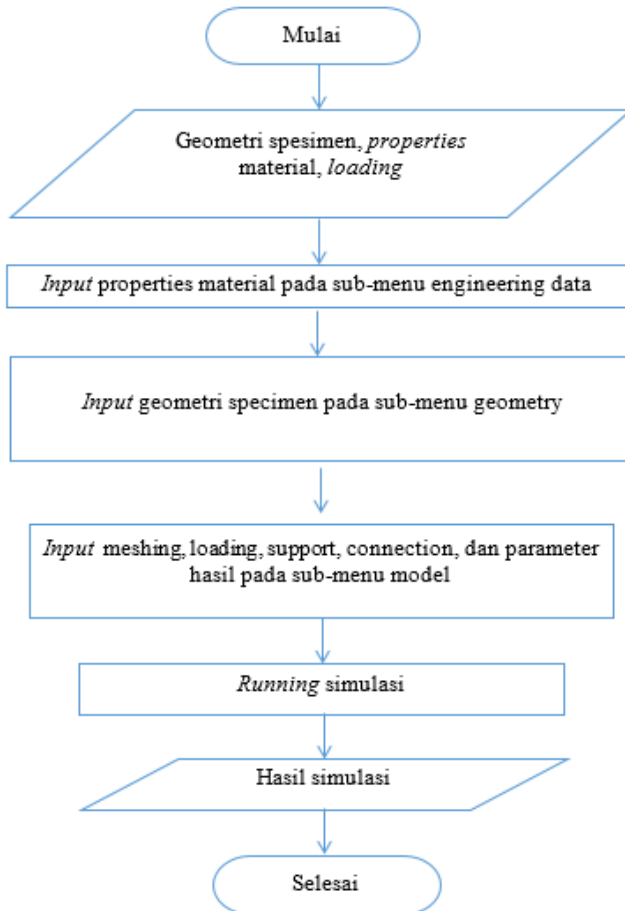
b = lebar (mm)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

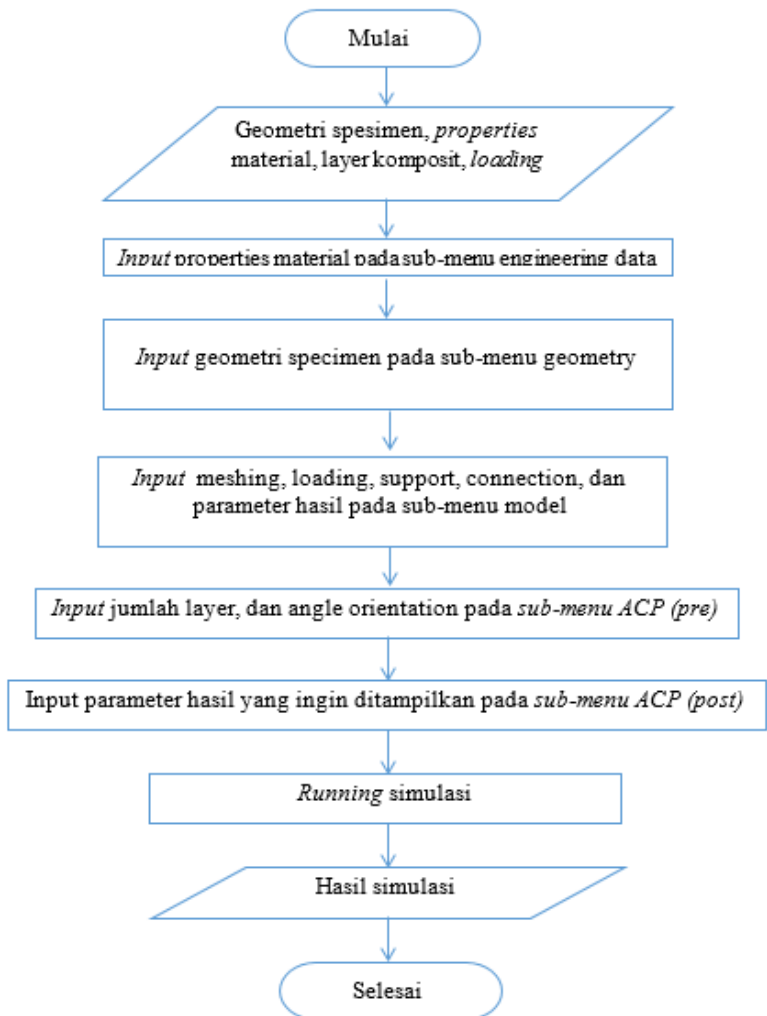
3.1 Diagram Alir Simulasi

3.1.1 Diagram Alir Simulasi Poros Baja



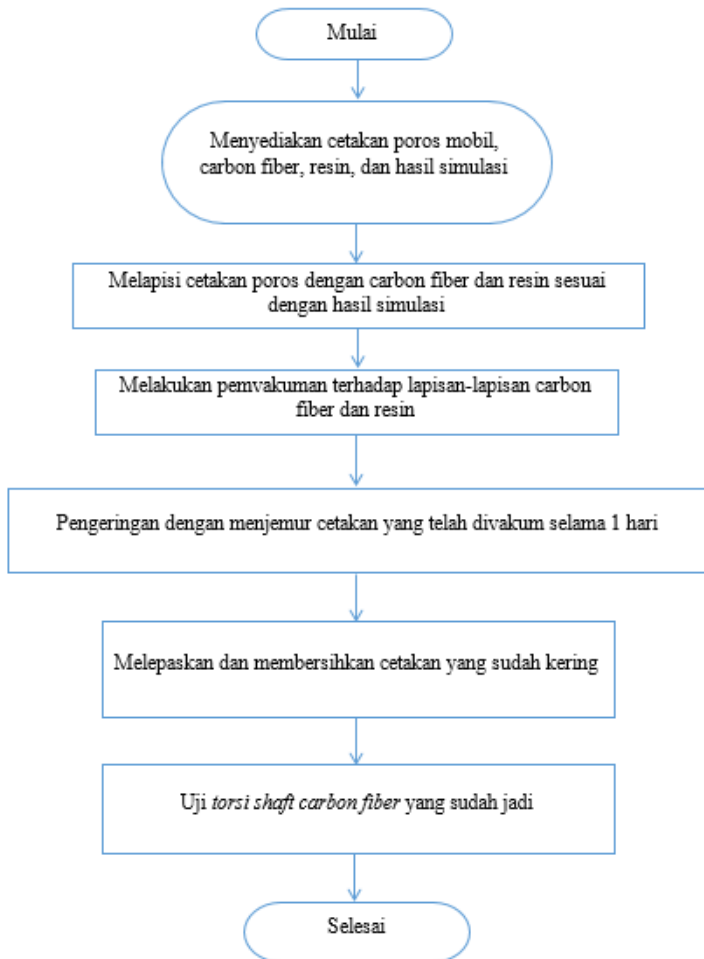
Gambar 3.1 Skema diagram alir simulasi poros asli

3.1.2 Diagram Alir Simulasi poros *epoxy-carbon fiber*



Gambar 3.2 Skema diagram alir simulasi *hollow shaft carbon fiber*

3.2 Diagram Alir Eksperimen



Gambar 3.3 Skema diagram alir penelitian

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui dasar teori mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian. Dasar teori berkaitan dengan hal-hal berikut ini:

1. Komposit
Dasar teori mengenai definisi komposit, komponen-komponen penyusunnya yaitu matriks, penguat dan material inti serta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.
2. Kayu Balsa
Penjelasan mengenai *properties* yang dimiliki oleh kayu balsa dan contoh aplikasi yang pernah dilakukan.
3. *Carbon fiber*
Dasar teori mengenai definisi *carbon fiber* dan *properties* yang dimilikinya.

3.4 *Properties Material*

Material untuk pembuatan komposit pada percobaan kali ini adalah *epoxy* resin sebagai *matriks*, dan *Carbon fiber TC35-12K* sebagai *reinforced*. Adapun material tambahan berupa lem *epoxy*. Tabel 3.1 merupakan *properties* dari *Carbon fiber TC35-12K*, dan Tabel 3.2 merupakan *properties* dari *Epoxy* resin yang digunakan untuk pembuatan komposit.

Tabel 3.1 *Carbon fiber TC35-12K*

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
Density	1.79	g/cm ³
Young's Modulus X Direction	112.3	Mpa
Young's Modulus Y Direction	112.3	Mpa
Young's Modulus Z Direction	50	Mpa
Tensile X Direction	4000	Mpa
Tensile Y Direction	4000	Mpa
Tensile Z Direction	150	Mpa
Elongation	1.60~1.80	%
Sizing Type	<i>Epoxy*</i>	
Sizing Content Wt%	1.0~1.4	%

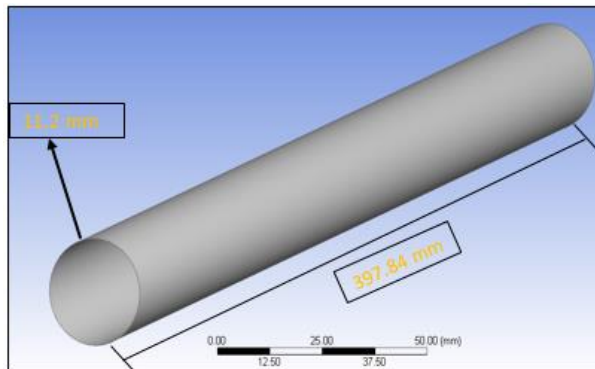
Tabel 3.2 *Epoxy Resin*

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
Density	1200	Kg/m ³
Young's Modulus	3780	Mpa
Tensile Yield Strength	54,6	Pa

3.5 Model Spesimen[6]

Model spesimen yang digunakan sesuai dengan dimensi *hollow shaft* pada mobil [6], dapat dilihat pada Gambar 3.4

Dimensi specimen : Ø 11.2 x 397.84 (mm)



Gambar 3.4 Profil spesimen 3 dimensi beserta ukurannya

3.6 Pengkondisian Simulasi Model Uji *Torsi*

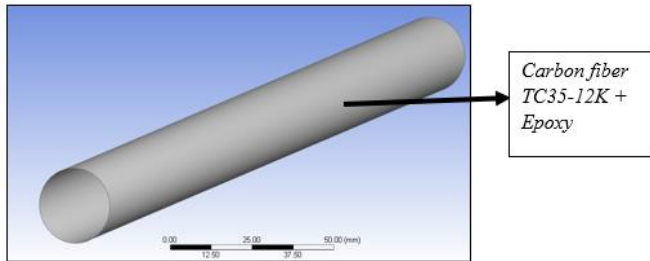
Memulai proses simulasi untuk pengujian *torsi* menggunakan *software finite element* dan yang perlu dilakukan dalam melakukan pengujian ini antara lain:

1. Penentuan Geometri

Geometri yang telah di desain menggunakan *software solidworks* di *import* ke dalam *software finite element*.

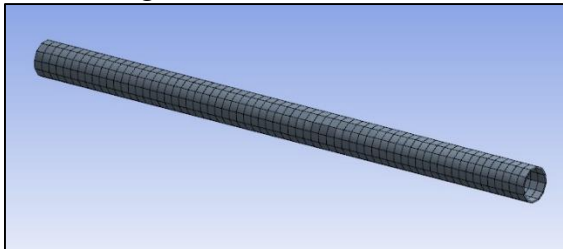
2. *Input Data Material*

Data *properties* material (*Carbon fiber TC35-12K*) dimasukkan ke dalam sub-menu *engineering* data. Susunan material yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pemilihan material untuk uji *torsi*

3. *Meshing*



Gambar 3.6 Pemilihan *meshing* untuk uji *torsi*

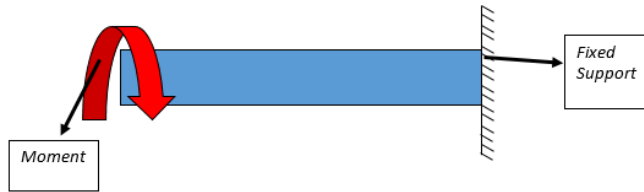
Pada gambar 3.6 menunjukkan proses *meshing* yang dilakukan terhadap geometri specimen.

4. **Pemberian beban dan *fixed support***[7]

- Uji torsi

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kekakuan dari specimen. Skema pengujian torsi dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan *torsi* yang diberikan bernilai:

$$T = 141 \text{ N.m}[8]$$

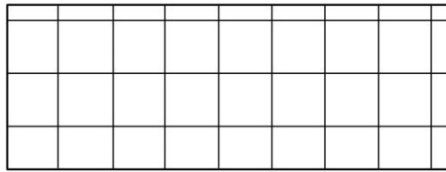


Gambar 3.7 Pemberian *fixed support* dan *moment* pada spesimen untuk uji torsi

5. Pengaturan Arah dan Ketebalan Layer

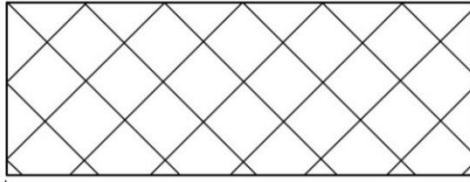
Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penggunaan komposit, peletakan arah lamina merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan material komposit. Simulasi pengujian dilakukan dengan software *finite element*. Simulasi menggunakan analisis *Static Structural (ACP)* untuk komposit. Material yang dipakai adalah *Carbon fiber TC35-12K* sebagai *reinforced* dan *epoxy* sebagai matriks. Variasi arah lamina yang diterapkan dalam 1 *stackup* dapat dilihat pada Gambar, 3.8, Gambar 3.9, dan Gambar 3.10.

- Arah lamina 0°



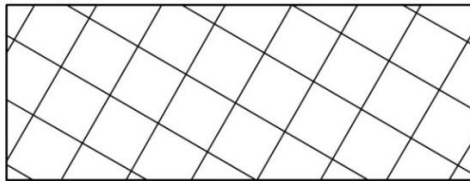
Gambar 3.8 *Carbon fiber* dengan arah lamina 0°

- Arah lamina 45°



Gambar 3.9 *Carbon fiber* dengan arah lamina 45°

- Arah lamina 60°

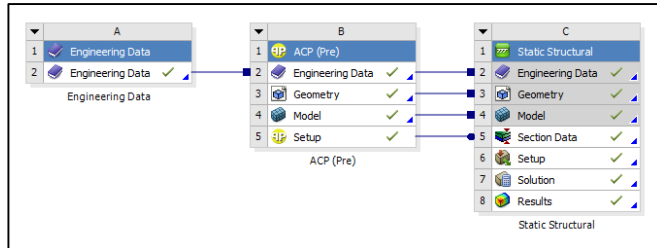


Gambar 3.10 *Carbon fiber* dengan arah lamina 60°

Diberikan 6 variasi jumlah layer yang sama pada masing-masing variasi arah lamina yaitu 1 layer, 5 layer, 10 layer, 15 layer, 20 layer, dan 25 layer. Pada setiap material yang dibuat menggunakan arah serat yang *uniform*.

6. Proses *Running* dan Hasil Simulasi

Pada *software finite element analysis* diberikan input data berupa *properties material*, geometri material, dan solusi yang ingin didapatkan. Skema proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skema simulasi *static structural*

7. Analisis Data

Dari hasil simulasi berupa distribusi tegangan dan nilai deformasi total yang akan dianalisis apakah nilai tegangan berada dibawah tegangan *yield* tiap material sehingga aman digunakan. Analisis dilakukan dengan melihat daerah kritis pada saat deformasi maksimal dan tegangan maksimal serta berat yang dihasilkan. Rumus perhitungan *torsional stiffness* melalui simulasi yaitu:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \times d}{\tan^{-1}\left(\frac{z_1 + z_2}{2b}\right)} \quad (3.2)$$

Dimana,

K: *Torsional Stiffness* (Nm/deg)

T: *Torsi* (Nm)

F: *Vertikal Force* (N)

z_1 : Defleksi vertikal 1 (m)

z_2 : Defleksi vertikal 2 (m)

θ : *Angle of twist* (rad)

d: jarak *fixed support* terhadap titik tengah spesimen (m)

3.7 Pengujian Eksperimen

- **Alat dan Bahan**

- **Alat**

1. Mesin uji *torsi*

2. Alat bantu : gerinda, gunting, kuas, dan lem *epoxy*
3. Alat ukur : mistar dan jangka sorong
4. Alat keselamatan : sarung tangan dan masker

- **Bahan**

1. *Carbon fiber TC35-12K*
2. Resin *epoxy* dan *hardener*

3.7.2 Langkah-langkah Percobaan

3.7.2.1 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini menggunakan *epoxy* dan *Carbon fiber TC35-12K* dengan variasi arah dan jumlah *layer*. Adapun rencana proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. *Shaft* berbentuk silinder *hollow* dengan ukuran sesuai dengan dimensi ukuran *shaft* Toyota Yaris 2014 disediakan sebagai cetakan eksperimen.
2. *Carbon fiber TC35-12K* dipotong dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran dimensi silinder *hollow*.
3. *Shaft* berbentuk silinder *hollow* dilapisi dengan *carbon fiber*.
4. Kemudian resin dioleskan diatas lapisan *carbon fiber*.
5. Proses nomor 4 diulangi hingga mendapatkan konfigurasi sesuai dengan hasil simulasi.
6. Lapisan *carbon fiber* dan *resin* yang telah tersusun di atas cetakan silinder *hollow* kemudian dilapisi dengan *plastic* untuk agar cetakan mendapatkan kondisi *vakum* selama proses pengeringan.
7. Didiamkan kurang lebih satu hari satu malam untuk menunggu proses pengeringan dari cetakan.

3.7.2.2 Pengujian *torsi*

Pengujian spesimen uji torsi berdasarkan standar ASTM E 143. Langkah-langkah pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Dimensi dari *shaft carbon fiber* dan harga kekerasan awal diukur
2. Beban momen puntir dipilih yang sesuai padamesin uji puntir
3. Kecepatan puntiran dan kecepatan kertas disesuaikan
4. Shaft carbon fiber diltakkan pada mesin uji puntir dan pastikan shaft carbon fiber terpasang dengan kuat
5. Spesimen diberikan tanda dengan tinta atau tip-ex
6. Mesin uji punter dijalankan
7. Saat spesimen patah, specimen dilepaskan dari mesin uji puntir
8. Spesimen hasil pengujian diukur diameter di tempat patahan dan daerah elastisnya

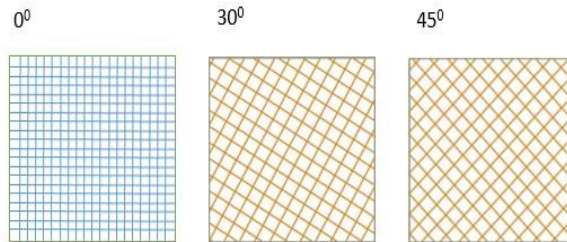
BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Sudut serat dan Jumlah *Layer Drive Shaft*

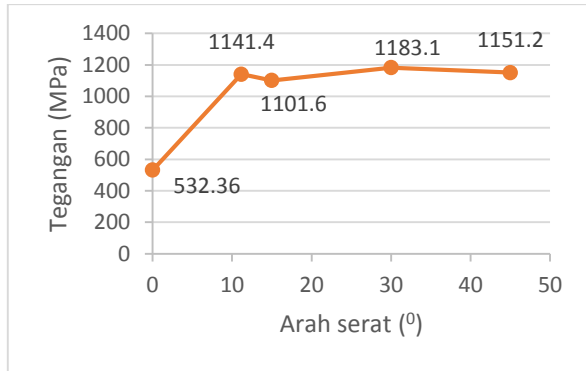
4.1.1 Penentuan Sudut serat *Drive Shaft*

Untuk melakukan penggantian *driveshaft* pada Toyota Yaris 2014 maka diperlukan rancangan *driveshaft* yang optimal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kekuatan dari *driveshaft* dapat ditentukan menjadi 2 hal. Faktor-faktor tersebut adalah sudut serat dan jumlah *layer fiber carbon*.



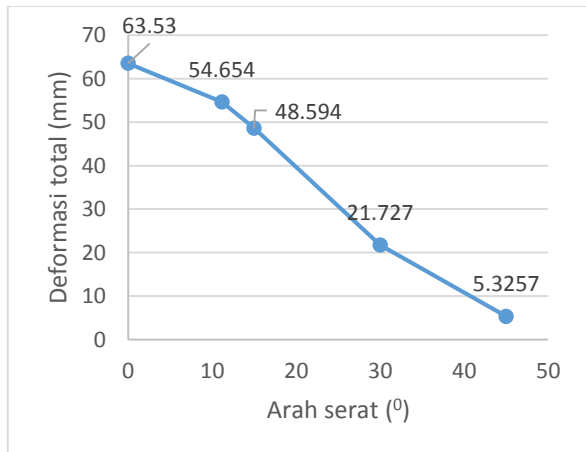
Gambar 4.1. Sudut serat pada *fiber carbon* jenis *woven*.

Gambar 4.1 menunjukkan ilustrasi sudut serat. Sudut serat ini digunakan sebagai faktor yang menentukan kekuatan *driveshaft*. Untuk menentukan *angle* yang paling optimal dilakukan simulasi 1 *layer* menggunakan *software finite element*.



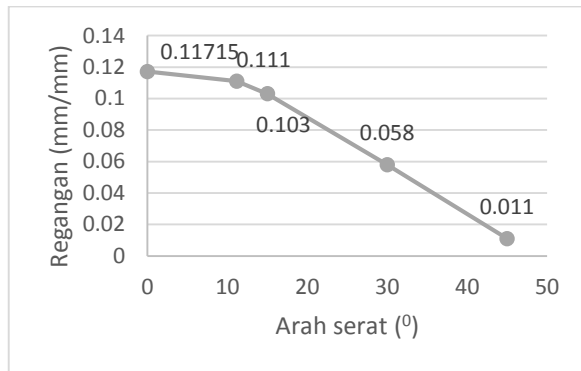
Grafik 4.1. *Trendline parameter equivalent stress* tiap sudut serat *fiber carbon 1 layer*.

Grafik 4.1 menunjukkan perbandingan tiap sudut serat parameter *Equivalent Stress*. Dari grafik 4.1 dapat disimpulkan bahwa sudut serat yang paling optimal untuk menahan *equivalent stress* adalah sudut serat 0° .



Grafik 4.2. *Trendline parameter total deformation* tiap sudut serat *fiber carbon 1 layer*.

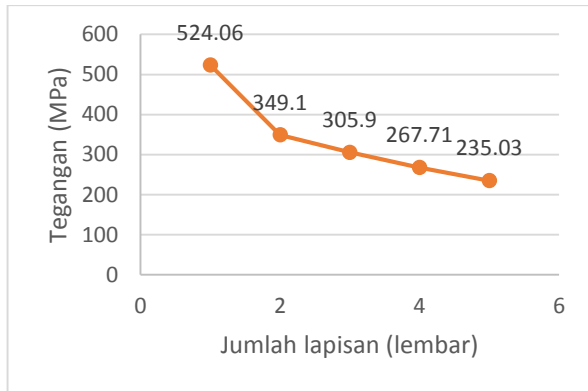
Dari grafik 4.2 diatas didapatkan informasi *total deformation* yang dialami oleh *driveshaft* ketika menerima beban *torsi*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut serat yang menghasilkan nilai paling optimal adalah sudut serat 45° .



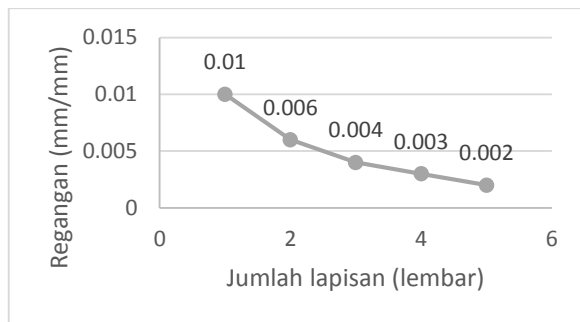
Grafik 4.3. *Trendline* parameter *equivalent elastic strain* tiap sudut serat *fiber carbon* 1 layer.

Grafik 4.3 diatas menunjukkan nilai *Equivalent Elastic Strain* yang dialami *driveshaft* ketika menerima pembebanan *torsi*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut serat yang menghasilkan nilai paling optimal adalah sudut serat 45° .

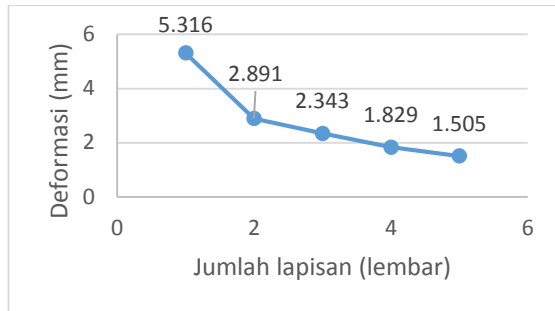
Dari ketiga parameter yang digunakan dapat ditentukan sebuah sudut serat yang paling optimal diantara sudut serat yang lain. Pertimbangan sudut serat optimal akan dilakukan dengan berdasarkan *trend* tiap layer pada sudut serat 0° dan 45° .



Grafik 4.4. *Trendline* parameter *equivalent stress* tiap penambahan *layer fiber carbon – epoxy* dengan sudut serat 0° .



Grafik 4.5. *Trendline* parameter *equivalent elastic strain* tiap penambahan *layer fiber carbon – epoxy* dengan sudut serat 45° .



Grafik 4.6. *Trendline* parameter *total deformation* tiap penambahan *layer fiber carbon – epoxy* dengan sudut serat 45^0 .

Dari grafik 4.4, 4.5, 4.6 diatas didapatkan informasi mengenai sudut serat optimal yang akan digunakan dalam proses penggantian *driveshaft* ini. *Trend* yang dirasa mengalami kenaikan signifikan adalah grafik parameter *total deformation* dan *equivalent elastic strain*. Hal ini dapat mengerucutkan pertimbangan sudut serat optimal yang digunakan, yaitu sudut serat 45^0 .

4.1.2 Penentuan Jumlah *Layer Drive Shaft*

Untuk menentukan jumlah *layer* yang paling optimal perlu dilakukan proses simulasi. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan *software finite element analysis*. Proses simulasi dilakukan menggunakan data sudut serat optimal yang telah dibahas pada sub-bab 4.1.3. Penambahan layer dilakukan untuk menemukan kebutuhan nilai dari parameter-parameter agar tidak gagal. Untuk identifikasi tiap parameternya akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

Tabel 4.1. Data 3 parameter untuk tiap *layer fiber carbon*.

layer	Total deformation (mm)	Equivalent stress (Mpa)	Equivalent Elastic Strain
1	5.3257	1151.2	0.011
5	1.505	297.51	0.0027
10	0.817	157.64	0.0014
12	0.69	132.63	0.0012

Dari tabel 4.1 dan ketentuan yang akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya, dapat ditentukan jumlah *layer* yang optimal adalah 5 *layer*.

4.2 Analisis Hasil Proses Simulasi

4.2.1 Analisis Parameter *Massa Drive Shaft* Hasil Simulasi

4.2.1.1 Analisis Parameter *Massa Steel (4130) Drive Shaft* Hasil Simulasi

Hasil dari simulasi *steel (4130) driveshaft* adalah sebagai berikut :

TOTAL MASS = 0.13356E-02			
The mass principal axes coincide with the global Cartesian axes			
CENTER OF MASS (X,Y,Z)= 198.92 -0.26016E-02 -0.42776E-02			
TOTAL INERTIA ABOUT CENTER OF MASS			
0.99019E-01	-0.20014E-11	-0.82819E-11	
-0.20014E-11	17.666	-0.71068E-04	
-0.82819E-11	-0.71068E-04	17.666	
The inertia principal axes coincide with the global Cartesian axes			

Gambar 4.2. *Massa total steel (4130) driveshaft*.

Dari gambar 4.2 diatas didapatkan massa dari *steel (4130) driveshaft* adalah 0.13356E-02 ton atau 1.336 kg.

4.2.1.2 Analisis Parameter Massa *Fiber Carbon – Epoxy Drive Shaft* Hasil Simulasi

Hasil dari simulasi *fiber carbon – epoxy driveshaft* adalah sebagai berikut :

```

TOTAL MASS = 0.24021E-03
The mass principal axes coincide with the global Cartesian axes

CENTER OF MASS (X,Y,Z)=    198.92    -0.91314E-04    -0.18686E-03

TOTAL INERTIA ABOUT CENTER OF MASS
0.18947E-01    0.48278E-06    0.11094E-06
0.48278E-06    3.1778    -0.22108E-07
0.11094E-06    -0.22108E-07    3.1778
The inertia principal axes coincide with the global Cartesian axes

```

Gambar 4.3. *Massa total fiber carbon – epoxy driveshaft.*

Dari gambar 4.3 diatas didapatkan massa dari *fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer* adalah 0.24021E-03 ton atau 0.240 kg.

4.2.1.3 Perbandingan Massa Steel (4130) Drive Shaft dan Massa Fiber Carbon – Epoxy DriveShaft

Tabel 4.2. Data perbandingan *massa fiber carbon – epoxy driveshaft* dan *massa steel (4130) driveshaft.*

Jenis material <i>driveshaft</i>	<i>Massa driveshaft (kg)</i>
<i>Fiber Carbon – Epoxy</i>	0.24
<i>Steel (4130)</i>	1.336

Dari tabel 4.2 diatas didapatkan *massa fiber carbon – epoxy driveshaft* dan *steel (4130) driveshaft*. Terdapat perbedaan *massa* dari tiap *driveshaft*. Untuk *fiber carbon – epoxy driveshaft* memiliki prosentase *massa* 18 % dari *massa steel (4130) driveshaft*. Jadi penggantian

material *steel (4130)* menjadi *fiber carbon – epoxy* didapatkan penurunan *massa* sebesar 18 %.

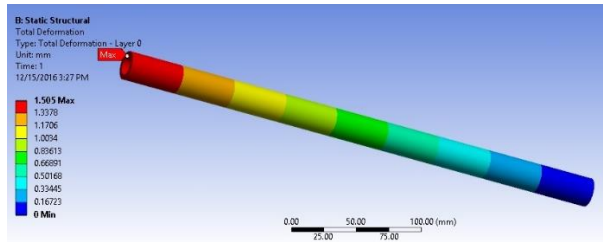
4.2.2 Analisis Parameter Total Deformation Hasil Simulasi

Untuk menganalisis kegagalan yang terjadi pada fungsi *driveshaft*, dibutuhkan analisis *total deformation*. Analisis ini dilakukan pada saat *driveshaft* dikenai beban *torsi*. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi *total deformation* yang terjadi pada material *steel 4130* dan pada material *fiber carbon – epoxy*.

Tabel 4.3. Data *total deformation driveshaft*.

Material	Total deformation (mm)
<i>Steel (4130)</i>	1.546
<i>Fiber Carbon Epoxy 1</i>	5.3257
<i>Fiber Carbon Epoxy 5</i>	1.505
<i>Fiber Carbon Epoxy 10</i>	0.817
<i>Fiber Carbon Epoxy 12</i>	0.69

Dari tabel 4.3 diatas dapat diketahui kekuatan tiap material *driveshaft* dalam parameter *total deformation*. Kekuatan material *steel (4130)* akan memiliki nilai *total deformation* yang sama dengan material *fiber carbon – epoxy 5 layer*. Hal ini menunjukkan bahwa material *fiber carbon – epoxy 5 layer* mengalami deformasi yang sama dengan material *steel (4130)*. Dengan kata lain rancangan *driveshaft fiber carbon – epoxy 5 layer* aman untuk diberikan beban *torsi*.



Gambar 4.4. Distribusi parameter *total deformation* *fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer*.

4.2.3 Analisis *Torsional Stiffness Drive Shaft*

4.2.3.1 Analisis *Torsional Stiffness Steel (4130) Drive Shaft*

Untuk menghitung nilai dari *torsional stiffness steel (4130) driveshaft (k)* diperlukan data G, J, L dari *steel (4130) driveshaft*. Berikut perhitungan nilai *torsional stiffnessnya* :

$$k = \frac{GJ}{L}$$

$$k = \frac{1.75 \times 10^{10} \times \pi \times (D_o^4 - D_i^4)}{32 \times 0.398}$$

$$k = 2.29 \times 10^8$$

4.2.3.2 Analisis *Torsional Stiffness Fiber Carbon – Epoxy Drive Shaft*

Untuk menghitung nilai dari *torsional stiffness steel (4130) driveshaft (k)* diperlukan data G, J, L dari *steel (4130) driveshaft*.

Berikut perhitungan nilai *torsional stiffnessnya* :

$$k = \frac{GJ}{L}$$

$$k = \frac{4.3 \times 10^{10} \times \pi \times D^4}{32 \times 0.398}$$

$$k = 2.375 \times 10^8$$

4.2.3.3 Perbandingan Nilai *Torsional Stiffness Steel (4130) Drive Shaft* dan *Torsional Stiffness Fiber Carbon – Epoxy DriveShaft*

Untuk melakukan perancangan *fiber carbon – epoxy driveshaft* diperlukan nilai torsional stiffness yang sama atau lebih dengan *steel (4130) driveshaft*. Dari sub-bab 4.2.3.1 dan sub-bab 4.2.3.2 telah ditunjukkan nilai *torsional stiffness* masing-masing *driveshaft*. Pada *fiber carbon driveshaft* dibutuhkan jumlah *layer* sebanyak 5 *layer* untuk menyamai nilai *torsional stiffness* dari *steel (4130) driveshaft*.

4.2.4 Analisis Kegagalan *Drive Shaft* Hasil Simulasi

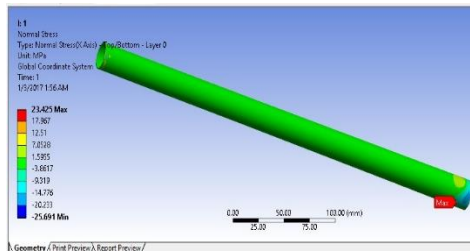
Analisis keamanan system *driveshaft* pada mobil *Toyota Yaris 2014* terdiri dari analisis *total deformation* dan kegagalan material. Pada sub-bab sebelumnya telah dibahas mengenai keamanan system dengan analisis *total deformation*. Selanjutnya pada sub-bab ini akan dibahas mengenai analisis keamanan system *driveshaft* dengan analisis kegagalan material.

Untuk mengetahui apakah material *fiber carbon – epoxy* mengalami kegagalan atau tidak, maka dilakukan beberapa parameter analisis kegagalan. Analisis parameter kegagalan yang digunakan adalah parameter *equivalent stress*, *equivalent elastic strain*, dan *tsai-hill*.

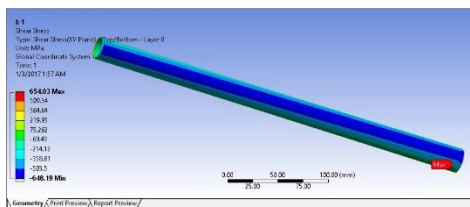
4.2.4.1 Analisis Parameter *Equivalent Stress* Hasil Simulasi

Untuk parameter *equivalent stress* ini digunakan teori kegagalan *Maximum Distortion Energy Theory (MDET)* atau *Von-mises Theory*. Pemilihan teori kegagalan ini dikarenakan oleh

kondisi jenis tegangan yang timbul pada saat pembebanan *torsi*. Jenis tegangan yang timbul adalah jenis tegangan geser dan tegangan normal.



Gambar 4.5. Distribusi parameter *normal stress* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer*.



Gambar 4.6. Distribusi parameter *shear stress* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer*.

Pada kasus pembebanan kali ini nilai tegangan normal yang muncul dapat mengakibatkan nilai tegangan (*stress*) meningkat. Oleh karena itu diperlukan analisis kegagalan yang memperhitungkan juga nilai *normal stress*-nya. Teori kegagalan yang dimaksud adalah teori kegagalan *MDET (Von-Mises Theory)*. Untuk *properties strength yield point (Sy)* digunakan nilai *strength yield point* dari *fiber carbon – epoxy*. Nilainya adalah 1820 MPa.

Berikut adalah rumus menghitung tegangan maksimal yang boleh terjadi menurut teori *MDET (Von-Mises Theory)* :

$$\frac{Syp}{SF} \geq \sqrt{(\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2))}$$

$$\frac{1820 \text{ Mpa}}{2} \geq \text{Eq Stress}$$

$$910 \text{ Mpa} \geq \text{Eq Stress}$$

Tabel 4.4. Data *equivalent stress fiber carbon - epoxy driveshaft* tiap layer.

<i>layer</i>	<i>Equivalent stress (Mpa)</i>
1	1580.7
5	297.51
10	157.64
12	132.63

Dari perhitungan dan tabel 4.4 diatas dapat diketahui bahwa jumlah 5 *layer* masih tergolong aman untuk menahan beban *torsi*. Pemilihan 5 *layer* ini didasarkan pada pembahasan pada sub-bab sebelumnya mengenai analisis *total deformation*.

4.2.4.2 Analisis Parameter *Equivalent Elastic Strain* Dari Hasil Simulasi

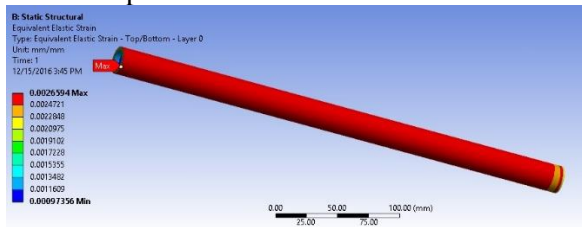
Seperti pembahasan pada sub-bab sebelumnya mengenai analisis parameter *equivalent stress* dan analisis *total deformation*, pada analisis parameter *equivalent elastic strainnya* menggunakan jumlah *layer* sebanyak 5 *layer*. proses analisis pada parameter ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi

material *fiber carbon – epoxy* dengan *properties material maximum strain*. Nilai *maximum strainnya* adalah 1,62 %.

Tabel 4.5 Data *equivalent elastic strain fiber carbon - epoxy driveshaft* tiap layer.

<i>layer</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
1	0.0283
5	0.0027
10	0.0014
12	0.0012

Dari tabel 4.5 ditunjukkan bahwa material *fiber carbon – epoxy 5 layer* memiliki nilai *elastic strain* sebesar 0.0027 atau 0,27 %. Hal ini menunjukkan bahwa material *fiber carbon – epoxy 5 layer* masih berada pada zona aman dalam menerima pembebanan *torsi*.

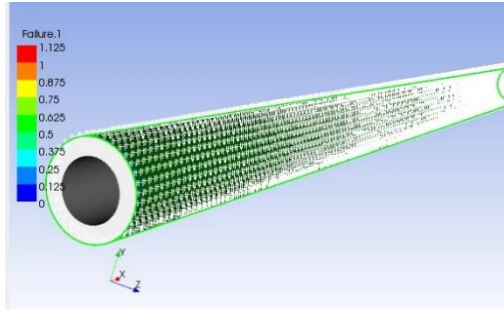


Gambar 4.7. Distribusi parameter *equivalent elastic strain* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer*.

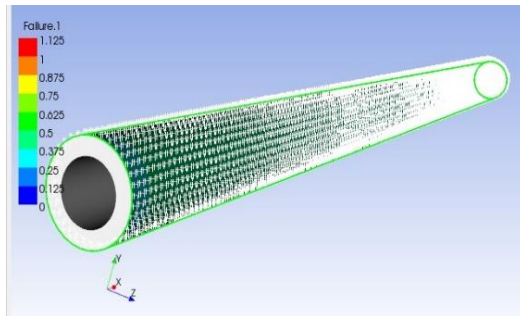
4.2.4.3 Analisis Parameter *Tsai-Hill* Dari Hasil Simulasi

Analisis parameter *Tsai-Hill* ini digunakan ketika material yang akan diuji terbuat

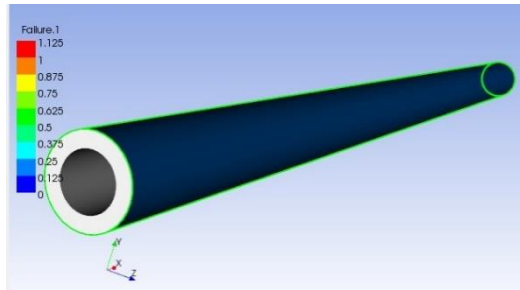
dari *composite*. Serta materialnya memiliki nilai tegangan prinsipal tiap arah ketika dikenai beban *torsi*. Untuk kasus ini tegangan prinsipal tiap arahnya bisa dilihat dari hasil simulasi *software finite element*. Parameter ini mengidentifikasi kegagalan tiap *layer* di dalam *composite*.



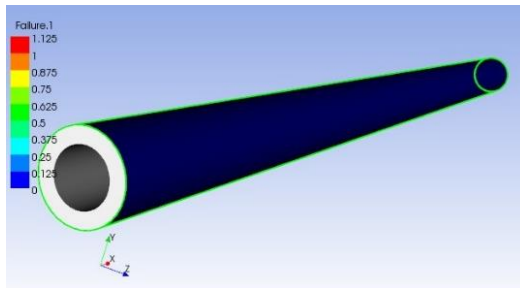
Gambar 4.8. Distribusi parameter *tsai hill* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-5* (layer terluar).



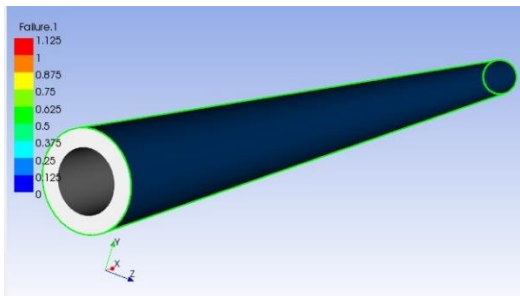
Gambar 4.9. Distribusi parameter *tsai hill* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-4*.



Gambar 4.10. Distribusi parameter *tsai hill* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-3*.



Gambar 4.11. Distribusi parameter *tsai hill* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-2*.



Gambar 4.12. Distribusi parameter *tsai hill* pada *fiber carbon – epoxy driveshaft layer ke-1* (terdalam).

Dari gambar 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12 dapat diketahui bahwa nilai skala warna tiap *layer* pada *composite* tidak melebihi nilai 1. Untuk *layer* 1 berwarna hijau muda atau nilai skala 0,65. Untuk *layer* 2 berwarna hijau tua kebiruan atau nilai skala 0.5. Sedangkan *layer* 3 memiliki warna biru kehijauan atau nilai skala 0,25. *Layer* 4 memiliki warna biru dongker yang artinya memiliki nilai skala 0,125. Dan untuk *layer* 5 memiliki warna biru dongker keputihan yang artinya memiliki nilai skala 0.2. Dari analisis gambar diatas dapat disimpulkan bahwa dari parameter nilai *tsai-hill* dengan pembebanan *torsi* menyatakan semua *layer* pada *composite fiber carbon – epoxy* masih dalam zona aman atau nilai skalanya masih dibawah 1.

4.3 Analisis Hasil Eksperimen

4.3.1 Analisis Parameter *Massa Drive Shaft* Hasil Eksperimen

Setelah melakukan proses eksperimen pembuatan *driveshaft* dengan material *fiber carbon – epoxy* dilakukan beberapa analisis sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Untuk sub-bab ini dilakukan analisis dengan parameter *massa driveshaft* yang telah dibuat. Pada gambar di bawah ini akan ditampilkan hasil pengukuran *massa fiber carbon – epoxy driveshaft*.



Gambar 4.13. Massa *fiber carbon – epoxy driveshaft* 5 layer.

Dari gambar 4.13 ditampilkan proses pengukuran *massa fiber carbon –epoxy driveshaft* dengan menggunakan neraca. Neraca yang digunakan memiliki ketelitian sebesar 0.1 kilogram. Teknologi tampilan yang digunakan neraca ini adalah teknologi digital. Sementara untuk hasil pengukuran *fiber carbon – epoxy driveshaft* berdasarkan gambar 4.13 adalah 0.266 kilogram.

4.3.2 Analisis Kegagalan Drive Shaft Hasil Eksperimen

Setelah melakukan proses eksperimen pembuatan *driveshaft* dengan material *fiber carbon – epoxy* dilakukan beberapa analisis sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Untuk sub-bab ini dilakukan analisis dengan parameter kegagalan dari *driveshaft* yang dieksperimen. Pada gambar di bawah ini akan ditampilkan hasil kegagalan *fiber carbon – epoxy driveshaft*.



Gambar 4.14. Kondisi *fiber carbon – epoxy driveshaft* saat diberi beban *torsi*.

Dari gambar 4.14 didapatkan *fiber carbon – epoxy driveshaft* tidak mengalami kerusakan atau kegagalan. Kondisi yang ditunjukkan oleh gambar 4.14 adalah kondisi dimana *fiber carbon – epoxy driveshaft* diberikan beban *torsi* sesuai dengan proses eksperimen yang telah dijelaskan pada sub-bab 3.7. Jadi dapat disimpulkan spesifikasi *fiber carbon – epoxy driveshaft 5 layer* tidak mengalami kegagalan dan aman untuk menahan beban *torsi*.

4.4 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Eksperimen

4.4.1 Perbandingan Parameter *Massa Drive Shaft*

Pada sub-bab 4.2.1.3 telah dijelaskan mengenai perbandingan massa dari *fiber carbon – epoxy driveshaft* dan *steel (4130) driveshaft* berdasarkan simulasi. Namun pada sub-bab ini akan membandingkan *massa* dari *fiber carbon – epoxy driveshaft* hasil simulasi dan eksperimen.

Menurut data dari sub-bab 4.2.1.2 didapat massa *fiber carbon – epoxy driveshaft* hasil simulasi sebesar 0.24 kilogram. Sedangkan pada sub-bab 4.3.1 didapat massa *fiber carbon – epoxy driveshaft* hasil eksperimen sebesar 0.266 kilogram. Terdapat selisih massa yang terjadi yaitu sebanyak 0.026 kilogram.

Hal ini menunjukkan bahwa pada proses eksperimen masih tidak sempurna. Terdapat banyak faktor yang menyebabkan *error* tersebut. Faktor yang sangat berpengaruh adalah proses penyerapan resin (*epoxy*) pada proses pengeringan yang masih kurang optimal, sehingga masih ada resin berlebih yang menyatu dengan *fiber carbon*.

4.4.2 Perbandingan Kegagalan Drive Shaft

Analisis kegagalan yang dilakukan melalui proses simulasi dan eksperimen menunjukkan hasil yang sama. Hasilnya adalah tidak terjadi kegagalan dengan model pembebanan *torsi* yang sama.

Analisis kegagalan pada proses eksperimen sangatlah terbatas hasilnya. Karena keterbatasan alat yang digunakan. Alat yang digunakan hanya memungkinkan hasil antara gagal atau tidak gagal. Berbeda dengan hasil simulasi yang dapat menentukan nilai dari parameter *equivalent stress*, *equivalent elastic strain*, dan *theory tsai hill*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan rangkaian simulasi, eksperimen, pengolahan data, dan analisa maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggantian material *steel (4130)* menjadi *fiber carbon - epoxy* untuk *part driveshaft* Toyota Yaris 2014 menghasilkan konfigurasi serat sudut 45^0 dan 5 *layer fiber carbon* dengan ketebalan 8 mm.
2. Dengan rancangan serat sudut 45^0 dan 5 *layer fiber carbon*, massa dari *part driveshaft* mengalami penurunan sebesar 82% dari massa awal *part driveshaft*.
3. Proses eksperimen yang dilakukan dianggap mengalami *error*. *Error* ini mengakibatkan nilai massa hasil eksperimen berbeda sebesar 10.83% dari massa hasil simulasi.
4. Hasil eksperimen hanya berisikan gagal atau tidaknya *fiber carbon - epoxy driveshaft* apabila diberi pembebanan 141 Nm, dengan hasil *fiber carbon – epoxy driveshaft* tidak mengalami kegagalan.

5.2 SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian dan diharapkan berguna untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan alat uji seharusnya disesuaikan dengan kebutuhan. Apabila alat yang digunakan dirasa kurang, maka diusahakan untuk mencari akses agar dapat menggunakan alat yang ideal.
2. Pembuatan model eksperimen diusahakan harus sangat presisi dengan data hasil simulasi. Hal ini

dikarenakan untuk menghindari perbedaan data hasil simulasi dan eksperimen.

3. Proses pembuatan resin harusnya dilakukan dengan sangat teliti untuk menakar campuran resinnya. Serta proses pelapisan resin harusnya dilakukan hingga merata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rompicharla, R.P. Kumar&Rambabu. 2012. *Design and optimization of Drive Shaft with Composite*. India.
- [2] Uriya, Yu. 2014. *Cold and warm V-bending test for carbon-fiber-reinforced plastic sheet*. Jepang.
- [3] Badie, M.A. Et al. 2010. *An Investigation into Hybird Carbon/Glass Reinforced Epoxy Composite Automotive Drive Shaft*. Qatar.
- [4] Hibbeler, R.C. 2003. *Mechanics of Materials*. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education.
- [5] Statista. 2016. *Number of cars sold worldwide from 1990 to 2016 (in million units)*.
<https://www.statista.com/statistic/200002/international-car-sales-since-1990>, 15-September-2016.
- [6] Anonym. 2014. *Part Catalog Toyota Yaris Facelift 2014*.
<http://www.toyotapartsestore.com/2014/toyota-yaris/1-gas/1.5/1/4-transaxle/standard/trans/speeds-axles/driveline/parts-axle/shafts/joints-8328215>, 15-September-2016.

[7] Annual Book of ASTM Standards, A938 - 07(2013).
“Standard Test Method for Torsion

Testing of Wire”, American Society for Testing and
Materials.

[8] Anonym. 2014. Spesifikasi dan Harga Toyota Yaris 2014.
<https://www.semisen.com/1319/harga-toyota-yaris-2014.html>, 15-September-2016.

BIOGRAFI PENULIS



Gani Maustofah lahir di Pasuruan pada 19 Januari 1995 dan merupakan anak tunggal dari pasangan Yoes Maustofah dan Sri Hartatik. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK ABA-III, SD Al - Kautsar Pasuruan, Penulis melanjutkan jenjang sarjana pada SMPN 1 Pasuruan, dan SMAN 1 Pasuruan. Jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur SNMPTN Ujian Tertulis dengan NRP 2112100054.

Selama berkuliah di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS penulis aktif dalam organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin ITS menjadi staff, kepala divisi Hubungan Luar, dan Wakil Ketua Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin ITS. Penulis juga aktif menjadi asisten praktikum di Laboratorium Metalurgi.

Penulis menyelesaikan program sarjana dengan mengambil Tugas Akhir di bidang Metalurgi dibawah bimbingan Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST, MT. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* : ganimaustofah@gmail.com.